

하이브리드 chatter 안정화 전략을 통한 실시간 최적 가공 기술 및 시스템 개발

Hybrid Approach to Chatter Stability for Optimal Machining Technology and System Development

*#이강재¹, 송진석¹, 이창호², 김태원¹, 이재용¹

*#K. J. Lee(kangjae.lee@doosan.com)¹, J. S. Song¹, C. H. Lee², T. W. Gim¹, J. Y. Ha¹

¹두산인프라코어(주), ²한국과학기술원 기계공학과

Key words : chatter stability, hybrid approach, real-time, optimal machining

1. 서론

최근 항공산업 및 우주산업을 위한 고속 가공 혹은 난삭재 가공에도 적용되고 있는 금형공정은 공구-홀더-스핀들의 잦은 조합 변동이 수반되어 가공 중 공구점 동특성이 지속적으로 변경된다. 특히, 거대 구조물의 경량화를 위한 Deep Pocketing 이나 Thin Wall Machining 가공에는 긴 돌출길이의 공구가 사용되며 이 때 발생하는 가공 불안정성은 공구에 허용된 MRR (Material Removal Rate) 적용을 어렵게 하여 생산성을 저하시킨다. 공구의 허용 MRR 과 고속 가공 조건의 적극적 활용을 위해 Fig. 1 과 같이 공구 조합별 가공 안정성선도 확보가 필요한데 이를 위한 절삭계수 확보 시험 및 공구점 동특성 확보를 위한 해머 가진 실험은 일반 작업자가 수행하기에는 복잡하고 많은 시간이 소요되어 현장에서는 매우 제한적으로 적용되고 있다. 따라서 가공 공정 설계 단계와 실제 가공 공정에서 실시간 가공 안정화를 구현하는 하이브리드 전략을 적용하는 연구를 수행하였다. 본 논문에서는 초기 가공 조건 선정 알고리즘, 실시간 chatter 인지 및 회피 알고리즘, 그리고 안정성 확보 기반 이송속도 향상 알고리즘 및 탑재 시스템을 제시한다. 본 알고리즘은 절삭과 chatter 진동 에너지를 인지, 구분하고 chatter 판단에 근거하여 새로운 가공 조건을 지령하며 에너지의 실시간 정보는 스피들에 장착된 가속계의 신호로부터 확보된다. 실제 금형 형상 절삭 실험을 통해 가공 안정성과 생산성 향상 성능 검증 시험을 수행하였으며 다양한 형상에서의 본 알고리즘 신뢰성과 강건성을 확인하였다.

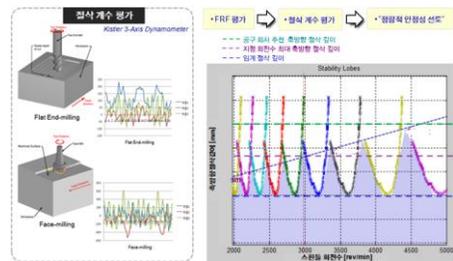


Fig. 1 Process for Machining Stability Lobes

2. 하이브리드 전략을 통한 가공 안정화

chatter 발생을 결정하는 가공 안정성선도의 주요 인자인 주축 회전수와 축방향 절삭깊이를 초기 가공 조건으로 선정하기 위해 공구-홀더-스핀들 해석 모델을 적용하여 공구점 동특성을 해석적 도출하였다. 시험과의 Correlation 통해 확보된 모델 정확도로부터 공구조합 및 돌출 길이에 따른 초기 가공 조건을 선정할 수 있다. 이와 같은 초기 가공 조건은 공정 설계 단계에서 선정되며 이후 세부적인 가공 안정성과 생산성 향상은 실시간으로 조정된다.

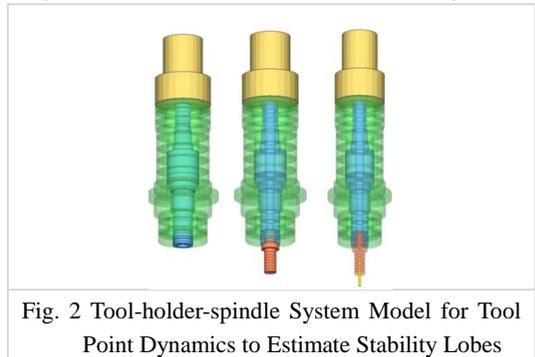


Fig. 2 Tool-holder-spindle System Model for Tool Point Dynamics to Estimate Stability Lobes

3. 실시간 안정화 기반 최적 가공 기술

본 연구의 실시간 최적 가공 기술은 크게 실시간 chatter 안정성 확보 알고리즘과 실시간 이송속도 향상 알고리즘으로 구성된다. Fig. 3 은 알고리즘이 탑재된 시스템, 인터페이스 그리고 운용 프로그램을 보이고 있다.

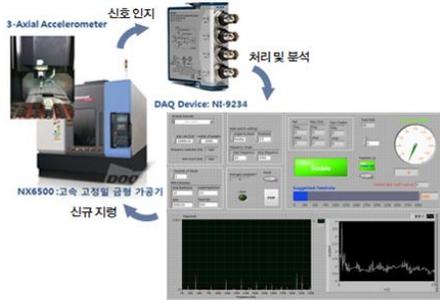


Fig. 3 Real-time Chatter Stability-based Optimal Machining Scheme

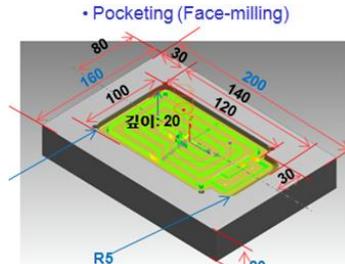
스핀들에서 실시간 확보된 가속도 신호의 시간 및 주파수 신호를 분석하여 chatter 발생 유/무를 인지하고 발생 시 chatter 회피를 위한 주축 회전수 변경을 지령한다. 회전수 주파수를 chatter로 인한 진동 주파수에 동기시켜 절삭량을 일정하게 하는 방안으로 초기 조건 적용으로 극단적인 chatter는 발생하지 않으므로 실시간 알고리즘을 통한 chatter 회피가 강건하게 이루어진다. 이후 확보되는 실시간 안정성에 근거하여 이송속도를 향상시키며 추가 chatter 발생은 chatter 에너지의 정량적인 값과 변동 경향을 통해 모니터링하고 알고리즘 내에서 회피된다.

4. 실제 가공 경로 검증 및 결론

본 연구에서 개발된 알고리즘 및 탑재 시스템의 성능은 실제 가공 경로 적용을 통해 검증하였다. 대표적 금형 가공인 Profiling 과 Pocketing 을 수행하였으며 Pocketing 형상 및 대표 가공 조건은 Fig. 4 와 같다. 실시간 회전 속도 변경으로 (4203→6746 rpm) 가공 안정성을 확보한 후, 이송속도를 향상시켜 (500→1000 mm/min) 생산성 100% 증대되는 (20000→40000 mm³/min) 성능을 검증하였다.

본 연구에서 선정되는 초기 조건은 실시간

chatter 발생 시 제어 가능한 범위 내 위치시키기 위해 매우 중요하며 높은 적용성 및 강건성을 위해 다양한 방안을 고안 중에 있다.



- 사용 공구
: Pocket-Face Mill (직경 25 mm)
Flat End Mill (직경 8 mm, L/D = 4)
- 피삭재
: SM45C, AI-7076

Fig. 4 Pocketing Shape and Main Machining Conditions

Table 1 Verification of Algorithm Performance

	초기 조건	최적 가공 조건
반경방향절입량[mm]	25	25
축방향절삭깊이[mm]	1.6	1.6
회전수[rpm]	4203	6746
이송속도[mm/min]	500	1000 (100% 향상)
MRR [mm³/min]	20000	40000

후기

본 연구에서 수행된 하이브리드 chatter 안정화 알고리즘 및 실시간 시스템 프로그램은 특허 출원 중에 있습니다.

참고문헌

1. Y. Altintas, E. Budak, 1995, "Analysis Prediction of Stability Lobes in Milling," Annals of the CIRP, **44**, 357-362, 1995
2. A. Erturk, E. Budak, "Selection of Design and Operational Parameters in Spindle-holder-tool Assemblies for Maximum Chatter Stability by Using a New Analytical Model," IJMTM, **47**,1401~1409, 2007